

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2019.4.13

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗОНДИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Е.И. ПАРШАКОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) в настоящее время часто выполняются в условиях городских агломераций и в пределах действующих горнодобывающих предприятий, где уровень помех бывает сопоставим с уровнем полезного сигнала. Для повышения достоверности результатов, получаемых при количественной интерпретации ВЭЗ, разрабатываются и совершенствуются алгоритмы, позволяющие выделять полезную информацию из сигналов, осложненных помехами. В статье представлены результаты интерпретации кривых ВЭЗ с помощью метода минимизации эмпирического риска (МЭР). Метод представляет собой синтез функционально-аналитического и вероятностно-статистического подходов, что позволяет подавлять как интенсивные знакопеременные помехи, так и помехи, закон распределения которых заметно отличается от нормального.

Ключевые слова: вертикальное электрическое зондирование, помеха, метод минимизации эмпирического риска.

Одним из параметров, определяющих качество получаемых результатов при геофизических исследованиях, является точность полевых измерений. Для методов сопротивлений в электротометрии данная величина регламентирована «Инструкцией по электроразведке» и составляет 5%. Однако, геофизические наблюдения выполняются в пределах действующих промышленных объектов, городских агломераций, когда уровень помех от приповерхностных неоднородностей, различных коммуникаций и техногенных электромагнитных полей, не только превышает 5% барьер, но и иногда сопоставим с уровнем полезного сигнала. В связи с этим остро встает вопрос о разработке методов и алгоритмов способных выделять полезную информацию из «зашумленного» сигнала.

Для повышения достоверности получаемых результатов предлагается использовать метод количественной интерпретации кривых ВЭЗ, получивший название минимизации эмпирического риска (МЭР), который на основании общих представлений об исследуемом разрезе, позволяет рассчитать возможные варианты решения обратной задачи на множестве D допустимых решений, и выбрать вариант, который наилучшим образом соответствует априорной информации. Подробное описание метода МЭР приведено в работах [1, 2]. В 2016 г метод МЭР был опробован для интерпретации параметрической кривой ВЭЗ по Игарскому району. Решение обратной задачи было сведено к определению значений удельных электрических сопротивлений слоев при фиксированных значениях их мощности [3]. В дальнейшем [4-6] был программно реализован алгоритм подбора полного вектора параметров геоэлектрического разреза $\mathbf{w} = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_m, h_1, h_2, \dots, h_{m-1}\}$ и одновременный подбор полного вектора параметров для нескольких ВЭЗ [7].

Отличительной особенностью метода МЭР является способность к подавлению интенсивных знакопеременных помех, закон распределения которых заметно отличается от нормального, а также возможность оценивания точности определения петрофизических параметров изучаемых объектов за счет использования мало известного в геофизических приложениях критерия выбора наилучшего решения по минимуму математического ожидания его погрешности.

Для сравнения эффективности традиционного и альтернативного подходов к решению обратной задачи ВЭЗ в условиях помех была смоделирована случайная помеха, основанная на преобразовании Бокса-Мюллера, которая характеризуется нормальным

законом распределения. В качестве примера использована кривая ВЭЗ типа НК, рассчитанная для четырехслойного геоэлектрического разреза. Примеры частных кривых ВЭЗ осложненных помехами типа 1 и 2 отражены на рис. 1. Границы интервалов их изменения были рассчитаны из условия, что минимальные значения составят 30% от истинных, а максимальные – 130%.

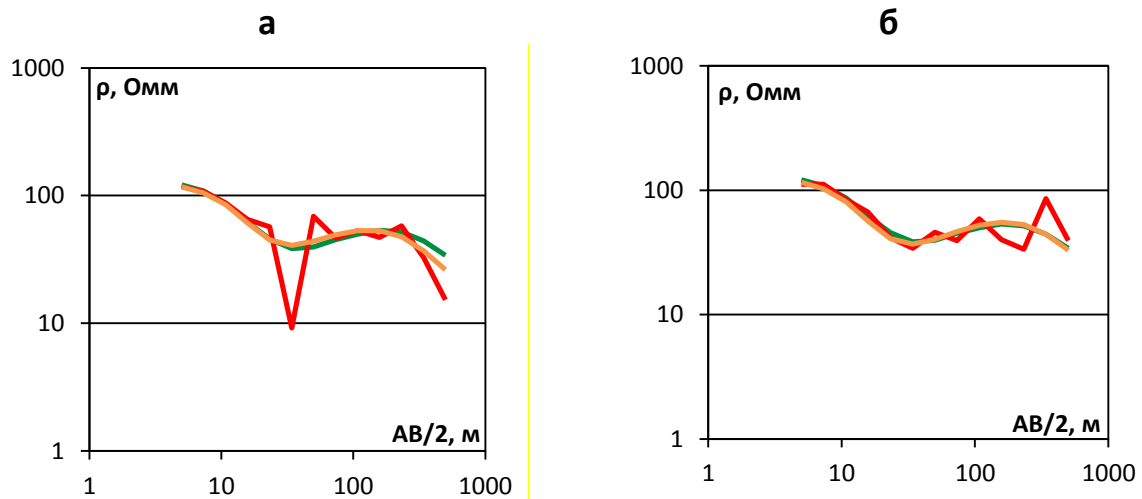


Рис. 1. Кривые ВЭЗ для помехи типа 1 (а) и типа 2 (б): 1) зелёный – модель, 2) красный – частная модель, осложненная помехой, 3) оранжевый – частное решение обратной задачи

Для каждого типа помех было рассчитано по 100 вариантов решения обратной задачи. Для каждого из вариантов моделировалась новая случайная последовательность помехи. При этом в каждом варианте генерировалось 10^5 случайных комбинаций вектора параметров. Полученный набор решений был представлен в виде гистограмм значений параметра для каждого слоя. В качестве примера на рис. 2 приведены гистограммы распределения сопротивления третьего слоя для каждого типа помех.

Как видно на рисунке, полученные решения обратной задачи имеют некоторый разброс значений, но гистограммы имеют унимодальный характер. Полученные значения достаточно хорошо соответствуют исходным параметрам геоэлектрического разреза, как для данных осложненных помехой с нормальным распределением (тип 1), так и с распределением, отличающимся от нормального (тип 2).

Для количественной оценки качества полученных результатов были рассчитаны: относительное отклонение полученных параметров разреза от истинных (Q) и математическое ожидание погрешности (J_0 - величины относительного отклонения).

Для помехи имеющей нормальный закон распределения $Q = 9,2 \%$, $J_0 = 11,3 \%$. Для второго типа помехи: $Q = 8,2 \%$, $J_0 = 12,5 \%$. Близость полученных оценочных параметров Q для различного рода помех позволяет количественно подтвердить, что метод МЭР обладает высокой устойчивостью к флуктуациям в исходных данных.

Таким образом, метод МЭР позволяет эффективно подавлять случайные помехи, амплитуда которых в отдельных случаях может достигать значений, сопоставимых с амплитудой полезного сигнала. Несомненным достоинством метода МЭР является отсутствие жестких ограничений на закон распределения помехи, достаточно выполнения предположения о приблизительном равенстве нулю медианного значения помехи.

Для реальных условий такое допущение является, более правдоподобным, чем традиционное предположение о центрированности помехи. Использование метода МЭР позволит повысить достоверность результатов, получаемых при количественной интерпретации ВЭЗ.

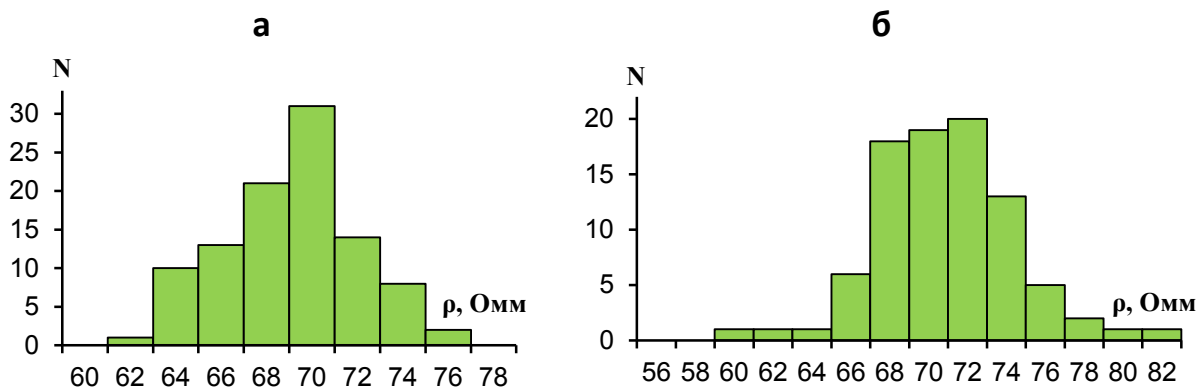


Рис. 2. Гистограммы распределения сопротивления третьего слоя для первого (а) и второго (б) типа помех

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-35-00320.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В. Смешанные вероятностно-детерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Геофизика. – 2011. – № 2. – С. 20-29.
2. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В. Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 438, № 4. – С. 532-537.
3. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В., Тайницкий А.А., Христенко Л.А. Подавление знакопеременных помех при инверсии данных вертикального электрического зондирования // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Геология. – 2016. – Вып. 2 (31). – С. 55-63.
4. Тайницкий А.А. Применение метода минимизации эмпирического риска при интерпретации данных ВЭЗ // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 15 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2017. – С. 243-246.
5. Тайницкий А.А. Решение обратной задачи ВЭЗ методом минимизации эмпирического риска для группы зондирований // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 230-232. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.63.
6. Тайницкий А.А., Кичигин А.В. Интерпретация данных электроразведки методом минимизации эмпирического риска // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию Первой Всесоюз. геофизич. конф. / ПГНИУ [и др.]. – Пермь, 2017. – С. 191-195.
7. Тайницкий А.А., Кичигин А.В. Решение обратной задачи ВЭЗ в условиях интенсивных знакопеременных помех // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сб. науч. тр. Вып. 1 (6) / ПГНИУ [и др.]. – Пермь, 2018. – С. 286-290.

УДК 550.34

DOI:10.7242/echo.2019.4.14

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РАЙОНЕ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА РУДНИКА СКРУ-2

Д.Ю. ШУЛАКОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На основании анализа большого объема натуральных сейсмологических наблюдений, связанных с аварийными ситуациями на рудниках ВКМКС, установлено, что микросейсмическая активность, сопровождающая рост карстовых провалов, носит импульсный либо волнообразный характер. Показано, что использование графиков повторяемости сейсмических событий применительно к техногенным карстовым процессам не только возможно, но и позволяет получить дополнительную информацию о внутренней структуре сейсмического процесса. На основании их анализа выяснено, что, в отличие